UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS

CASE POSTALE 6128, SUCCURSALE A, MONTRÉAL, QUÉBEC, H3C 3J7

TRANSPORT FERROVIAIRE DES MARCHANDISES : DEUX OUTILS D'AIDE À LA PLANIFICATION À MOYEN ET LONG TERMES DES OPÉRATIONS

Teodor Gabriel Crainic

Ce rapport a été publié grâce à une subvention du fonds F.C.A.C. pour l'aide et le soutien à la recherche.

Université de Montréal
Centre de recherche sur les transports - Publication #335-F
Février 1984

Dépôt légal - 4e trimestre 1984

RÉSUMÉ

Dans cet article, nous comparons les résultats et performances d'un outil basé sur des modèles et techniques de recherche opérationnelle à ceux obtenus à l'aide des outils (système de simulation déterministe) présentement utilisés au Canadien National pour la planification tactique du transport des marchandises. Nous examinons les différences observées et les possibilités offertes par un outil de planification intégrant les deux approches.

ABSTRACT

We examine two different methods which may be used to assist the tactical planning process in rail freight transportation : a deterministic simulation method based on decision-making input from the planner and a network optimization model. The first has been designed at a large Canadian company, while the second has universitary origins. We compare the two methods and the characteristics of the solutions obtained and discuss the possibilities offered by a method combining the two approaches.

INTRODUCTION

Le transport des marchandises par chemin de fer constitue un système complexe, plus grand que la simple somme de ses composantes, entre lesquelles on observe des relations et compromis multiples et compliqués. C'est aussi un système qui fait intervenir d'importantes sommes d'argent, tant pour l'investissement que pour l'opération. De plus, des changements aux infrastructures d'un tel système nécessitent des longues périodes pour être réalisés.

Il est donc essentiel de pouvoir prévoir de tels changements et de pouvoir analyser leur impact sur les opérations et les performances globales du système. L'évaluation de scénarios constitue donc une partie importante du processus de planification d'une compagnie de chemin de fer.

Le processus de planification reflète cette complexité, surtout lorsqu'il s'agit de la planification à moyen terme (tactique) ou à long terme (stratégique). Il est donc important d'avoir des outils efficaces, rapides et précis pour assister le planificateur dans sa tâche.

Nous présentons dans cet article deux méthodes permettant de construire un tel outil. La première, conçue par et implantée au Canadien National (C.N.), est basée sur une méthode de simulation déterministe et interactive avec contrôle continu de l'usager. La seconde est basée sur un modèle d'optimisation de réseau que nous avons développé avec le support du C.N.

L'article débute par une très brève description des problèmes associés à la planification tactique dans le contexte du transport ferroviaire des marchandises (pour plus de détails, voir Crainic, 1984). Nous décrivons ensuite les deux méthodes et en dégageons les principales caractéristiques.

Des résultats et une comparaison des deux méthodes apparaissent dans la section suivante et nous concluons avec une discussion des possibilités offertes par un processus intégrant les deux approches.

LE PROBLÈME

La composante physique de toute compagnie de chemins de fer de quelque importance est constituée d'un réseau formé de petites stations et de grandes gares de triage reliées entre elles par des lignes principales ou secondaires. Un grand nombre de wagons (plus de 100 000 dans le cas du C.N.) circulent à tout moment sur ce réseau et chacun peut avoir un objectif indépendant de tous les autres.

Les wagons ne circulent toutefois pas isolément, mais en convois appelés trains et, de plus, les wagons sont généralement regroupés dans des blocs. Un bloc est un groupe de wagons dont les destinations sont possiblement différentes, mais qui sont considérés comme une seule unité depuis la station de formation du bloc jusqu'à sa destination, là où les wagons sont séparés et possiblement regroupés dans d'autres blocs. Ce type de regroupement est utilisé pour diminuer le nombre de manipulations de wagons dans les gares de triage et constitue, avec la formation et l'opération des trains, une des principales activités d'un système ferroviaire.

Pour surveiller les mouvements des trains et des wagons, les compagnies utilisent divers mécanismes d'identification et de reconnaissance qui, reliés au système d'ordinateur, permettent également la collecte d'un grand nombre d'informations sur les mouvements ainsi que sur la composition des trains et des blocs, les activités des gares, etc. Quant au contrôle des activités reliées à ces mouvements, tant dans les gares que sur les lignes du réseau, il est réalisé via diverses politiques opérationnelles dynamiques qui considèrent et affectent en grand détail les opérations

locales : horaires, règles de priorité sur les voies, règles de dispatching, etc.

Ces politiques doivent cependant suivre les lignes directrices établies au niveau supérieur de prise de décision lors de la planification tactique des opérations.

Les décisions prises à ce niveau portent principalement sur l'établissement du réseau de services (les services de train à offrir, leurs routes et fréquences), le cheminement du traffic (la séquence de services de train utilisée et les gares de classification pour les wagons de chaque combinaison origine-destination-type de marchandise donnée) ainsi que sur les politiques de classification des wagons (les blocs à former) et de formation de trains dans les gares de triage.

Ces politiques ont des effets sur tout le réseau, en plus d'être fortement interreliées, tant dans leurs aspects économiques que dans leurs aspects spatio-temporels. Des compromis doivent être considérés entre le coût d'opération engendré par une certaine politique et les effets correspondants sur la qualité du service telle que reflétée, par exemple, dans les délais imposés aux trains et au fret. Les mêmes compromis doivent également être réalisés lorsque l'on considère les relations entre deux ou plusieurs politiques portant sur des aspects différents du système de transport.

Le but de la planification tactique est de permettre une utilisation efficace et rationnelle des ressources existantes pour améliorer la performance globale du système. Ainsi, les détails des opérations au jour le jour ne sont pas analysés à ce niveau de planification, mais les décisions répondent à d'importantes variations dans les paramètres du système, telles les variations saisonnières de la demande de transport ou des modifications dans le réseau physique.

Ainsi donc, le planificateur doit pouvoir disposer d'outils qui lui permettent d'analyser globalement, du point de vue de tout le réseau, les effets que des changements dans la configuration et les caractéristiques du réseau physique (tels l'installation ou l'améliorations de certaines installations ou l'abandon de certaines lignes), dans les politiques d'opération (introduction de nouveaux trains directs, par exemple), dans les conditions extérieures de fonctionnement (telles le coût de l'énergie ou la réglementation) ou dans la philosophie générale d'opération de la compagnie (par exemple, priorité accrue au transport intermodal COFC/TOFC) ont sur les diverses parties du système de transport. Ainsi, cet outil de planification peut être utilisé pour la planification tactique de la période suivante ou pour répondre aux scénarios développés au cours du processus de planification stratégique.

Cet outil devrait être assez maniable et flexible pour faciliter l'analyse de scénarios assez variés, mais aussi assez efficace pour permettre l'étude d'un grand nombre d'alternatives dans un temps raisonnable. Il peut contenir des modules d'évaluation pour les divers attributs (capacité, coûts, congestion) des composantes individuelles du système (gares et voies), mais doit surtout pouvoir traiter le problème de planification globalement, au niveau de tout le réseau.

Nous présentons, dans les sections qui suivent, deux méthodes pour obtenir un tel outil d'aide à la planification.

LE SYSTÈME "CANAT"

Examinons d'abord le système CANAT (voir "Guide to Using CANAT", 1982) qui fut conçu, développé et implanté au Canadien National dans le but d'assister les planificateurs dans l'évaluation, du point de vue de tout le réseau, des effets des variations dans le trafic des marchandises sur l'utilisation et les performances des gares et des voies. Le système, appelé CANAT, pour "Computer-Assisted Network Analysis Tool", fut conçu comme un outil général pour la planification à moyen et à long terme, avec comme objectif principal, l'étude de la charge de travail assignée aux gares de triage.

CANAT peut être décrit comme un sytème modulaire et interactif de simulation déterministe exigeant une décision externe (i.e. du planificateur) concernant le comportement et l'opération du système.

CANAT est composé de plusieurs "étapes", regroupées présentement dans trois modules. Des modules supplémentaires sont prévus pour développement ultérieur.

Le premier module sert à la génération de la matrice de demande (par origine, destination, type de traffic, de marchandise, etc.) à partir des données historiques et des prévisions de la compagnie.

Le second module est utilié pour sélectionner les données et définir le réseau pertinant à l'étude en cours. Remarquons que pour les besoins de CANAT, les quelques 5000 stations du réseau ont été regroupées en environ 650 zones, chaque zone représentant soit une grande gare de triage, soit une agrégation d'un groupe de stations dans une région ou sur une ligne, soit un point de jonction. Une étude typique soumise à CANAT portera sur environ 100 de ces zones et utilisera environ 100 à 150 lignes.

Le troisième module sert à définir les mouvements nécessaires à la satisfaction de la demande et est composé de deux parties.

Dans une première étape, on fixe les valeurs des paramètres associés aux composantes du système de transport : le nombre maximum de trains qui peuvent être formés/défaits à chaque gare, la longueur maximum des trains, la limite de poids sur les lignes, etc. D'autres caractéristiques opérationnelles sont aussi définies à cette étape, telles des routes standard pour les trains.

Dans la seconde partie du module, le planificateur crée interactivement les trains nécessaires pour satisfaire à la demande, tout en vérifiant la charge de travail des gares de triage. Les mouvements du trafic ainsi définis ne doivent pas excéder de façon dramatique les capacités fixées à l'étape précédente. Les trains sont définis selon leur type, leur vitesse, leurs routes et arrêts intermédiaires, ainsi que selon les blocs transportés. Le système peut fournir des informations sur l'état de la demande, du trafic, des charges de travail des gares et des trains, etc. À l'aide de ces informations, l'utilisateur peut créer, modifier ou annuler des trains, jusqu'à ce que des résultats satisfaisants soient obtenus et que toute la demande de transport soit satisfaite. Un grand nombre de rapports complètent le système.

LA MÉTHODE D'OPTIMISATION

Dans notre approche, le processus de planification tactique du transport ferroviaire des marchandises se présente comme un problème d'optimisation que nous pouvons formuler et résoudre à l'aide de techniques de programmation mathématique.

La formulation est celle d'un modèle d'optimisation du réseau dont le but est l'intégration des relations et compromis, au niveau tactique,

entre les politiques régissant l'établissement du réseau de service, le cheminement du trafic, la classification des wagons et la formation des trains. L'objectif n'est pas l'établissement d'horaires détaillés, mais la génération de stratégies d'opération qui soient à la fois économiquement acceptables et qui assurent aussi un bon niveau de service en termes de délai et de fiabilité du service.

Voici maintenant une brève description de cette approche. Une description complète du modèle se trouve dans Crainic, Ferland et Rousseau (1984).

Le modèle utilise essentiellement le même réseau physique que CANAT, sauf qu'il demande des informations supplémentaires, telles, par exemple, des temps moyens de service dans les gares de triage et des fonctions de délai sur les voies pour chaque type de service de train selon la congestion, les caractéristiques de la voie, etc. La demande de transport est agrégée par marché = origine-destination-type de marchandise.

Le réseau de service est défini sur le réseau physique et spécifie l'ensemble des routes sur lesquelles des services de train pourraient être opérés. Chaque service est caractérisé par sa route et les arrêts intermédiaires de même que par son type de vitesse-priorité. Sa fréquence (nombre de trains opérés sur le service pendant une période) est une variable (entière) du modèle.

Un itinéraire spécifie un cheminement réalisable pour le trafic d'un marché donné : la séquence des gares où le trafic est (re)classifié ainsi que les routes de service reliant ces gares. La quantité de flot a assigner à chaque itinéraire est aussi une variable (continue) du modèle.

Il faut remarquer que les services et les itinéraires constituent les éléments centraux de la formulation. En fixant les valeurs des fréquences, on détermine le niveau et le type de service offert et donc on résout le problème de design du réseau de service. Lorsque, de plus, on détermine, pour chaque marché, la meilleure affectation du trafic parmi ses itinéraires, non seulement on résout le problème de cheminement du trafic, mais on établit aussi des politiques de classification et de formation.

Le modèle se présente comme un problème de multiflot non linéaire mixte qui minimise un objectif global où apparaissent les coûts de manutention dans les gares (classification, transfert) et sur les voies (des wagons et des trains), ainsi que les coûts des délais imposés au wagons et aux trains dûs aux phénomènes de congestion : classification, connexion, parcours des voies. Ces délais sont transformés en coûts via des coûts unitaires de délai définis par type de marchandise ou de train. Dans l'objectif toujours, nous avons aussi incorporé les relations de capacité des services à l'aide de fonctions de pénalité sur les débordements.

Pour résoudre ce problème, nous avons développé un algorithme basé sur des techniques de décomposition et de génération progressive de colonnes. Une présentation détaillée, ainsi qu'une analyse des performances de cet algorithme se trouvent dans Crainic et Rousseau (1984). On y montre, entre autres, l'efficacité et la rapidité de l'algorithme, compte tenu des dimensions et de la complexité des problèmes. Le tableau 2 contient des temps d'exécution de l'algorithme pour certains problèmes-types qui viennent à l'appui de ces affirmations.

COMPARAISONS

Commençons par brièvement rappeler les principales caractéristiques des deux méthodes. Ceci facilitera l'analyse ultérieure des différences observées dans les comportements respectifs des deux méthodes ainsi que dans les résultats obtenus.

Le système CANAT ne fait appel à aucun objectif explicite, et ne considère ni les phénomènes de congestion ni d'autres fonctions sur le réseau faisant intervenir le temps. Ni coûts d'opération, ni coûts de délai ne sont explicitement considérés et il n'y a pas de procédure automatique d'affectation du trafic. Le planificateur doit spécifier chaque train ainsi que le trafic qui y est assigné, effectuant ainsi l'affectation du trafic en même temps qu'il définit les politiques de classification et de formation. Dans cette tâche, il utilise son jugement, son expérience et l'aide du système sous forme de rapports d'étape. C'est ainsi qu'une simulation détaillée des opérations peut être effectuée, tandis que le contrôle du planificateur sur son déroulement ainsi que sous la forme finale des résultats reste absolu et continu. En contrepartie cependant, le système est incapable de suggérer de nouvelles alternatives. De plus, le temps nécessaire à la construction d'une solution est assez considérable (de l'ordre de plusieurs jours) ce qui limite dramatiquement le nombre de stratégies différentes qui peuvent être analysées.

Dans l'approche d'optimisation, nous considérons explicitement tant les délais imposés aux trains et au trafic dans les gares et sur les voies, que les coûts d'opération (ainsi que des pénalités-délais pour dépassements éventuels de capacité) pour ainsi former un objectif global. Il faut toutefois noter la grande flexibilité de la formulation, qui permet le remplacement de tout modèle de coût ou de délai inclus dans l'objectif par un

modèle plus pertinent. Le modèle génère et évalue un grand nombre de stratégies d'opération pour en choisir "la" meilleure selon l'objectif. À ce moment, on obtient les services de train à offrir, leurs routes, compositions et fréquences, ainsi que le cheminement du trafic pour chaque marché et la charge de travail et la politique de classification pour chaque gare de triage du réseau. Ceci est accompli à l'aide d'un algorithme efficace qui peut, de surcroît, être décomposé en plusieurs procédures qui, lorsque prises individuellement, permettent d'analyser séparément les diverses composantes du système de transport, telles l'affectation du trafic, la longueur des convois, la fréquence d'un quelconque service, etc. Il est bien entendu cependant qu'une telle approche demande une quantité importante de données dont certaines pourraient s'avérer difficiles à obtenir, tels des temps moyens de service pour les gares de triage, ou encore les coûts de délais par type de marchandises. De plus, certains détails, et aussi un certain degré de réalisme, peuvent être perdus lorsque l'on utilise une approche d'optimisation. Évidemment, plus de détails pourraient être inclus dans le modèle, mais au prix d'une diminution de la flexibilité et de l'efficacité de la méthode. Un certain compromis doit donc être atteint.

Une première comparaison des deux méthodes et de leurs résultats confirme ces caractéristiques : la méthode d'optimisation est plus rapide et traite le problème de façon plus globale, tandis que la solution obtenue à l'aide de CANAT est plus détaillée et plus "précise", dans le sens où elle est plus près d'une solution directement implantable sur le terrain. Une comparaison plus détaillée des résultats s'est cependant avérée plus difficile.

Ceci est dû principalement à deux facteurs. Premièrement, il n'est pas possible de comparer directement les résultats sur la base d'une quelconque fonction objectif. Deuxièmement, dû à des problèmes techniques

(compatibilité des deux systèmes d'ordinateurs, spécifications des entrées et sorties respectives des deux systèmes, etc.), il est assez difficile de transférer les résultats obtenus à l'aide d'une méthode à l'autre système. Présentement, le seul transfert qui s'est avéré assez aisément réalisable fut celui du réseau de service obtenu à l'aide de CANAT.

Nous avons donc effectué trois types d'expériences :

1. Générer l'affectation optimale du trafic au réseau de service de CANAT avec les fréquences obtenues par CANAT. Nous appelons les résultats de cette affectation "solution CANAT".
2. Optimiser en utilisant le réseau de service de CANAT (mais non ses fréquences).
3. Optimiser avec un réseau de service généré par nous.

Nous avons expérimenté notre approche à l'aide de deux ensembles de données fournis par le C.N. et décrits dans le tableau 1. Le premier représente des prévisions de demande pour 1990 pour la partie ouest du réseau (y inclus Montréal et Toronto). Les expériences 1, 2 et 3 réfèrent à ces données. Le second représente les prévisions pour 1991 pour la "B.C. North Line", une sous-région du réseau précédent pour laquelle une étude approfondie fut effectuée au C.N. Les expériences 4, 5 et 6 réfèrent à ce second ensemble de données.

Des temps typiques de résolution pour les six expériences, ainsi que leur décomposition selon les principales procédures de l'algorithme, apparaissent dans le tableau 2. Les temps sont en secondes C.P.U. Cyber 173. Les variations observées proviennent, entre autres, des différences dans les dimensions des réseaux de service et dans le nombre de marchés.

	Données I	Données II
Réseau physique		
gares de triage	71	24
jonctions	36	53
liens	95	41
Marchés		
nombre	735	281
% de la demande couverte	95%	99%
Réseaux de service (nombre de services)		
CANAT	191	47
généré	399	49

Tableau 1 - Description des deux ensembles de données.

	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5	Exp 6
Temps total	480	774	2518	91	126	108
Procédures :						
modification des fréquences	---	40	133	---	1,1	0,9
generation des itinéraires	245	266	519	20	22	25
optimisation sous-problèmes	129	277	1443	37	55	34

Tableau 2 : Temps typiques d'exécution pour les six expériences. (sec. C.P.U. Cyber 173)

Le tableau 3 contient des valeurs représentant les diminutions (en pourcentages) par rapport aux "solutions CANAT" obtenues par la méthode d'optimisation lorsqu'appliquée aux deux ensembles de données.

Pour les trois expériences conduites sur le second ensemble de données, le tableau 4 contient la distribution des coûts selon les principales activités, le tableau 5 présente la composition des réseaux de service, le tableau 6 contient la distribution du nombre de trains selon la longueur de leurs routes, tandis que le tableau 7 présente la distribution du nombre de marchés selon le nombre d'itinéraires utilisés.

Ainsi que ces chiffres le démontrent clairement, notre méthode se compare très avantageusement au système CANAT tant pour la rapidité d'exécution que pour la qualité des solutions obtenues.

C'est la sixième expérience qui exemplifie peut-être le mieux les différences qui existent entre les deux méthodes. L'étude CANAT fut concentrée sur le sous-réseau de la "B.C. North Line" et, conséquemment, pour tout le trafic extérieur à cette ligne, les services générés le furent sans qu'on y consacre beaucoup de temps ou d'attention. La méthode d'optimisation doit, elle, considérer le transport de la demande de tous les marchés et donc de très importantes améliorations ont été obtenues dans certaines mesures de performance.

Des améliorations significatives furent également obtenues pour les autres expériences. Ceci est dû, en grande partie, aux caractéristiques d'une méthode d'optimisation qui, en explorant un grand nombre d'alternatives, a profité pleinement des avantages offerts par les économies d'échelle dûes à la formation de blocs plus grands et de trains plus longs.

Mesures de performance	Exp 2	Exp 3	Exp 5	Exp 6
Coût total	5,48	1,01	6,90	10,43
Tonnes-miles	0,37	- 0,39	2,65	2,06
Wagons-miles	0,33	- 0,38	1,75	2,29
Trains-miles	12,82	15,58	11,89	9,41
Coûts-wagon	0,31	- 2,92	1,35	2,00
Coûts-train				
délais	11,93	5,44	13,33	19,90
opération	11,55	5,76	12,48	18,97
total	11,63	5,69	12,67	19,17

Tableau 3 : Diminutions (en %) de certaines mesures de performance par rapport aux "solutions CANAT".

Activité	Exp 4	Exp 5	Exp 6
Coûts de wagon			
délai - classification	0,34	0,38	0,36
délai - transfert	0,52	0,59	0,65
classification et transfert	3,84	4,12	4,29
délai parcours	8,76	9,57	9,55
coût parcours	37,47	39,32	40,88
Total	50,93	53,98	55,73
Coûts de service			
délai parcours	10,16	9,49	9,08
délai arrêt	0,72	0,64	0,65
opération	38,18	35,90	34,55
Total	49,06	46,03	44,28

Tableau 4 : Distribution des coûts (en %) selon l'activité (coûts et délais).

Type de service	Exp 4		Exp 5		Exp 6	
	#services	#trains	#services	#trains	#services	#trains
Unitaire	4	68	4	68	4	68
Normal	40	863	38	859	32	1080
Rapide	3	49	2	16	0	0
Total	47	980	44	943	36	1148

Tableau 5 : Composition des réseaux de service.

Longueur de la route en miles	Nombre de trains Exp 4	Exp 5	Exp 6
inférieur à 200	79	52	36
inférieur à 300	22	29	28
inférieur à 400	170	150	278
inférieur à 500	355	350	311
inférieur à 1000	131	116	314
inférieur à 2000	93	102	181
supérieur à 2000	157	144	0

Tableau 6 - Distribution du nombre des trains selon la longueur de la route.

Nombre d'itinéraires/marché	Nombre de marchés Exp 4	Exp 5	Exp 6
1	255	236	270
2	28	15	13
3	11	7	2
4	12	7	0
5	9	12	0
6	0	8	0
Nombre total d'itinéraires	407	423	304

Tableau 7 - Distribution des marchés selon le nombre d'itinaires utilisés.

À l'aide de la même méthode, on a aussi examiné les possibilités offertes par des routes alternatives pour certains services et par des stratégies diverses pour la classification et le cheminement du trafic. Enfin, pour certains services, les résultats suggèrent d'opérer des trains plus courts mais plus fréquents pour ainsi améliorer la qualité de service et l'objectif global.

Il faut aussi remarquer que, à cause de la structure des coûts que le C.N. nous a fournis, les coûts de service sont proportionnellement plus importants que les coûts de wagons. Le modèle a donc essayé d'optimiser le système de transport en diminuant autant que possible le nombre de trains opérés sur le réseau, même si cela impliquait une augmentation des coûts de wagon. Ceci correspond, en fait, à la pratique courante de la compagnie, mais c'est aussi un domaine qui nécessite une analyse plus approfondie.

Cette qualité des résultats fut payée par la perte de certains détails opérationnels. Ainsi, par exemple, des wagons provenant de certains marchés ont possiblement été placés dans le même bloc ou le même convoi en violation d'une règle d'opération de la compagnie.

Ces problèmes peuvent, bien sûr, être corrigés. On peut, comme première panacée, imposer au modèle plusieurs contraintes, explicites ou implicites, et accepter la perte subséquente de flexibilité et d'efficacité de la méthode. Ou bien, on peut utiliser un système dans lequel le planificateur modifie interactivement la solution obtenue par la méthode d'optimisation pour en extraire une politique d'opération réalisable. C'est cette seconde alternative qui possède, à notre avis, les plus grandes chances de réussite.

Plusieurs modes d'utilisation sont possibles pour un outil de planification basé sur la méthode que nous avons présentée. Le système pourrait être utilisé en mode exploratoire pour rechercher les meilleures stratégies d'opération pour les conditions imposées par les scénarios développés durant le processus de planification stratégique. Ces stratégies et les coûts associés pourraient être produits et analysés beaucoup plus rapidement, aves moins d'efforts et en plus grand nombre que présentement. Le système pourrait aussi être utilisé en mode opérationnel pour aider à produire les politiques d'opération pour la prochaine période. Le planificateur peut, en interaction avec le système, modifier une solution ou utiliser son expérience pour choisir parmi plusieurs alternatives avec essentiellement la même valeur de l'objectif. Il pourrait aussi utiliser modulairement les diverses procédures de l'algorithme pour l'analyse de certaines composantes du système de transport, telles le niveau de service offert sur une route ou le cheminement du trafic d'un certain marché.

Ainsi, un système qui intégrerait la capacité, présente dans CANAT, de manipuler interactivement une solution pour y intégrer les connaissances et l'expérience du planificateur aux possibilités indéniables de notre méthode serait un outil puissant et utile pour la planification tactique du transport ferroviaire des marchandises.

CONCLUSION

Nous avons présenté deux approches pour construire des outils d'aide à la planification a moyen et à long termes pour le transport ferroviaire des marchandises : la méthode de simulation déterministe avec entrée et contrôle continus de l'usager actuellement utilisée au C.N. et une méthode d'optimisation composée d'un modèle de réseau général mais flexible et d'un algorithme efficace de résolution. Cette dernière méthode s'est avérée

sensiblement plus rapide tout en produisant des résultats très intéressants. Ceci suggère qu'une telle méthode pourrait avantageusement compléter les méthodes existantes de planification. Nous croyons aussi que notre approche peut se généraliser à d'autres problèmes de planification avec le même succès.

RÉFÉRENCES

CRAINIC, T.G. (1984) Planification tactique pour le transport ferroviaire des marchandises. Exposé des communications, 19e Assises annuelles de l'Association québécoise du transport et des routes (A.Q.T.R.).

CRAINIC, T.G., FERLAND, J.A., ROUSSEAU, J.-M. (1984) A Tactical Planning Model for Rail Freight Transportation. Transportation Science 18.

CRAINIC, T.G., ROUSSEAU, J.-M. (1984) Multicommodity, Multimode Freight Transportation : A General Modelling and Algorithmic Framework for the Service Network Design Problem. Publication #332, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal.

*** (1982) Guide to Using CANAT. Exploitation Department, Canadien National.